

STUDI ANALISIS DAN DESAIN BETON BERTULANG DAN BETON PRATEGANG UNTUK GEDUNG 5 LANTAI

Dicky Aditriya Hermana
NRP : 0421038

Pembimbing : Ir. Daud R. Wiyono M.Sc.
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG

ABSTRAK

Gedung pertemuan dengan area yang luas membutuhkan jarak kolom yang jauh agar tidak menghalangi pemandangan dan memberikan keleluasaan gerak. Dengan demikian akan ditemukan bentang balok yang panjang sehingga perlu menggunakan beton prategang agar dimensi balok tidak terlalu tinggi.

Desain struktur tahan gempa yang dipakai pada gedung 5 lantai ini adalah analisis Dinamik Spektrum Respons dengan menggunakan beban gempa menurut Peta Gempa 2002 dan Peta Gempa 2010. Dari hasil analisis struktur didapatkan waktu getar alami yang sama antara kedua Peta Gempa tersebut, peralihan dan *drift* didapatkan bahwa Peta Gempa 2002 lebih besar dan berkisar antara 1,4-3,7%.

Desain balok prategang menggunakan metode analisis dengan cara manual dan memakai perangkat lunak ADAPT-PT versi 7.10. Menghasilkan jumlah tendon 5-31@31strands sedangkan dengan menggunakan perangkat lunak ADAPT-PT didapatkan hasil pada Tendon Type B dan C didapatkan nilai *Required Number* = 10.

STUDY AND ANALYSIS OF CONCRETE REINFORCED AND CONCRETE PRESTRESSED FOR 5 FLOOR BUILDING

Dicky Aditriya Hermana
NRP : 0421038

Advisor : Ir. Daud R. Wiyono M.Sc.
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
MARANATHA CHRISTIAN UNIVERSITY
BANDUNG

ABSTRACT

A convention hall which has a wide space needs some quite distance between its columns to assure that the view is visible and provide a comfort to move. Thus, a long prestressed beam type will be needed in this case to prevent too much height of the beam.

The response spectrum analysis is used for the earthquake detention structure design with an earthquake load according to earthquake map 2002 and 2010. As a result from the structure analysis the conclusion are, both of the map has a same nature vibration time, the second map has a bigger drift and displacement than the first one in about 1,4 – 3,7%.

The prestressed beam design uses two kind of analysis methods, manually and through software using ADAPT-PT 7.10 version. These methods result 5-31@31 strand of tendon on manual, and from ADAPT-PT, the Required Number of B, and C tendon = 118,6.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Surat Keterangan Tugas Akhir	ii
Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir.....	iii
Lembar Pengesahan.....	iv
Pernyataan Orisinalitas Laporan Tugas Akhir	v
Pernyataan Publikasi Laporan Penelitian.....	vi
Abstrak.....	vii
<i>Abstract</i>.....	viii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xx
Daftar Notasi Dan Singkatan	xxii
Daftar Lampiran	xxvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penulisan	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teori Dasar	4
2.1.1 Beton	4
2.1.2 Material Penyusun Beton	5
2.1.3 Sifat Beton	7
2.2 Beton Bertulang	7
2.2.1 Kelebihan Beton Bertulang	8

2.2.2	Kelemahan Beton Bertulang	8
2.3	Beton Prategang	9
2.3.1	Kelebihan Beton Prategang	16
2.3.2	Kelebihan Beton Prategang Dibandingkan Beton Bertulang	16
2.3.3	Perencanaan Beton Prategang	17
2.3.4	Sistem Prategang	44
2.3.5	Pendekatan Desain Pasca Tarik	44
2.3.6	Profil Tendon	46
2.3.7	Kehilangan Gaya Prategang	47
2.4	Pembebanan	48
2.5	Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa	50
2.5.1	Wilayah Gempa Menurut SNI 03-1726-2002	50
2.5.2	Sistem Rangka Pemikul Momen	51
2.5.3	Wilayah Gempa Menurut RSNI 03-1726-201x	53
2.5.4	Respons Spektra	54
2.5.5	Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (MCE_R)	56
2.5.6	Parameter Percepatan Spektra Desain	57
2.5.7	Prosedur Pembuatan Respons Spektra Desain Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	59
2.5.8	Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental	60
2.5.9	Kuat Batas Terfaktor (<i>Load Resistance Factor/RFD</i>)	61
2.5.10	Kombinasi Pembebanan	62
2.6	Analisis Struktur dengan Program	64
2.6.1	ETABS	64
2.6.2	ADAPT-PT	65
BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN		68
3.1	Studi Kasus	68

3.1.1	Data Struktur	68
3.1.2	Data Material	70
3.1.3	Data Pembebanan	71
3.1.4	Kombinasi Pembebanan	73
3.1.5	Analisis dan Desain Struktur	73
3.2	Pemodelan Gedung	74
3.3	Analisis dan Desain Bangunan Terhadap Gempa Dinamik Berdasarkan SNI 03-1726-2002	87
3.3.1	Memasukkan Input Respon Dinamik	87
3.3.2	Faktor Skala dan Arah Utama	89
3.3.3	Pembahasan Hasil Analisis Dinamik Respons Spektrum	96
3.4	Analisis Dinamik Respons Spektrum Berdasarkan SNI 03-1726-201x	98
3.4.1	Memasukkan Input Respon Dinamik	98
3.4.2	Faktor Skala dan Arah Utama	102
3.4.3	Pembahasan Hasil Analisis Dinamik Respons Spektrum	110
3.5	Perhitungan Balok Prategang	111
3.5.1	Perhitungan Balok Induk Beton Prategang	111
3.5.2	Perhitungan Balok Anak Beton Prategang	138
3.6	Analisis dan Desain Balok Prategang Menggunakan Software <i>ADAPT-PT</i>	164
3.6	Pembahasan	179
3.6.1	Waktu Getar Alami	179
3.6.2	Peralihan dan <i>Drift</i>	180
3.6.3	Respons Spektrum	183
3.6.3	Output Gaya-Gaya Dalam	183
3.6.4	Analisis Beton Prategang	185
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN		186
4.1	Kesimpulan	186
4.2	Saran	187

Daftar Pustaka	188
Lampiran	189

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembuatan Beton Prategang Tarik	10
Gambar 2.2	Proses Pembuatan Beton Prategang Pascatarik	11
Gambar 2.3	Balok Prategang dengan Tendon Parabola	12
Gambar 2.4	Beban Imbang w_b	12
Gambar 2.5	Tegangan Serat pada Beton dengan Tendon Lurus [Nawy, 2003] .	13
Gambar 2.6	Diagram <i>freebody</i> balok beton bertulang dan balok beton prategang [Nawy, 2003]	15
Gambar 2.7	Kedudukan Gaya Tekan Pada C-Line [Nawy, 2003]	15
Gambar 2.8	Skema Penampang Balok	18
Gambar 2.9	Skema Penampang dalam Keadaan Lentur Batas	21
Gambar 2.10	Definisi A_{ph}	27
Gambar 2.11	Bagan Alir Perencanaan Geser dan Torsi	30
Gambar 2.12	Bagan Alir Perencanaan Geser dan Torsi (Lanjutan)	31
Gambar 2.13	Daerah Angkur	35
Gambar 2.14	Pengaruh dari Perubahan Potongan Penampang	36
Gambar 2.15	Contoh Model Penunjang dan Pengikat	37
Gambar 2.16	a) Profil Parabola Sederhana, b) Profil Parabola Sebagian c) Profil Parabola Terbalik, d) Profil Harpa [Aalami, 2005]	47
Gambar 2.17	Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Perioda Ulang 500 Tahun [SNI 03-1726-2002]	52
Gambar 2.18	Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 detik di Batuan Dasar S_B untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun (redaman 5%) Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	53
Gambar 2.19	Peta Respons Spektra Percepatan 1 detik di Batuan Dasar S_B untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun (redaman 5%) Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	54
Gambar 2.20	<i>Spectra Acceleration Bedrock</i>	58
Gambar 2.21	Response Spectra Desain	58

Gambar 2.22 Ilustrasi Perambatan Percepatan Gempa	59
Gambar 2.23 Spektrum Respons Desain	61
Gambar 2.24 Parabola Terbalik dan Beban Imbang [Aalami, 2005]	66
Gambar 2.25 Bagan Alir Solusi Interaksi dengan ADAPT-PT [Aalami, 2005] ..	67
Gambar 3.1 Gambar Tampak 3D Desain Awal	68
Gambar 3.2 Gambar Denah Kolom Gedung Pertemuan	69
Gambar 3.3 Gambar Denah Struktur Gedung Pertemuan Lantai 1, 2 dan 3	69
Gambar 3.4 Denah Gedung Pertemuan Tampak Samping	70
Gambar 3.5 Langkah Kerja	74
Gambar 3.6 Denah Tipikal Bangunan	74
Gambar 3.7 <i>Building Plan Grid System and Story Data Definition</i>	75
Gambar 3.8 <i>Edit Story Data</i>	76
Gambar 3.9 <i>Material Property Data</i>	77
Gambar 3.10 <i>Define Frame Properties</i>	77
Gambar 3.11 <i>Rectangular Section</i> untuk Balok (sebelum <i>Reinforcement Data</i> diubah)	78
Gambar 3.12 <i>Reinforcement Data</i> untuk Balok	78
Gambar 3.13 <i>Rectangular Section</i> untuk Balok (setelah <i>Reinforcement Data</i> diubah)	79
Gambar 3.14 <i>Define Frame Properties</i>	79
Gambar 3.15 <i>Rectangular Section</i> untuk Kolom (sebelum <i>Reinforcement Data</i> diubah)	80
Gambar 3.16 <i>Reinforcement Data</i> untuk Kolom	80
Gambar 3.17 <i>Rectangular Section</i> untuk Kolom (setelah <i>Reinforcement Data</i> diubah)	81
Gambar 3.18 <i>Define Frame Properties</i>	81
Gambar 3.19 <i>Wall / Slab Section</i>	82
Gambar 3.20 <i>Define Mass Source</i>	82
Gambar 3.21 <i>Assign Restraints</i>	83
Gambar 3.22 <i>Select Sections</i>	83

Gambar 3.23 <i>Assign Diaphragm</i>	83
Gambar 3.24 <i>Diafragma Lantai</i>	84
Gambar 3.25 <i>Set Analysis Option</i>	85
Gambar 3.26 <i>Dynamic Analysis Parameters</i>	85
Gambar 3.27 <i>P-Delta Parameters</i>	86
Gambar 3.28 <i>Response Spectrum Function</i>	88
Gambar 3.29 <i>Response Spectrum Cases</i>	89
Gambar 3.30 <i>Run Analysis</i>	89
Gambar 3.31 <i>Center Mass Rigidity</i>	91
Gambar 3.32 <i>Override Eccentricities</i>	93
Gambar 3.33 <i>Define Load Combinations</i> <i>Sebelum COMB3 Dimasukkan</i>	93
Gambar 3.34 <i>Load Combination Data untuk COMB3</i>	94
Gambar 3.35 <i>Define Load Combinations Setelah Semua</i> <i>Kombinasi Pembebanan Dimasukkan</i>	94
Gambar 3.36 <i>Response Spectrum Case Data</i>	95
Gambar 3.37 <i>Hasil Response Spectrum Base Reaction</i>	95
Gambar 3.38 <i>Response Spectra</i>	96
Gambar 3.39 <i>Respons Spektrum Gempa Rencana RSNI 03-1726-201x</i>	100
Gambar 3.40 <i>Response Spectrum NEHRP 97 Function Definition</i>	101
Gambar 3.41 <i>Response Spectrum Cases</i>	102
Gambar 3.42 <i>Run Analysis</i>	102
Gambar 3.43 <i>Center Mass Rigidity</i>	105
Gambar 3.44 <i>Override Eccentricities</i>	106
Gambar 3.45 <i>Define Load Combinations</i> <i>Sebelum COMB3 Dimasukkan</i>	107
Gambar 3.46 <i>Load Combination Data untuk COMB3</i>	107
Gambar 3.47 <i>Define Load Combinations Setelah Semua</i> <i>Kombinasi Pembebanan Dimasukkan</i>	108
Gambar 3.48 <i>Response Spectrum Case Data</i>	108

Gambar 3.49 Hasil <i>Response Spectrum Base Reaction</i>	109
Gambar 3.50 <i>Response Spectra</i>	109
Gambar 3.51 Balok Induk Beton Prategang yang Ditinjau	112
Gambar 3.52 Balok Anak Beton Prategang yang Ditinjau	138
Gambar 3.53 <i>General Settings</i>	165
Gambar 3.54 <i>Design Settings</i>	165
Gambar 3.55 <i>Span Geometry</i>	166
Gambar 3.56 <i>Supports-Geometry</i>	167
Gambar 3.57 <i>Supports-Boundary Conditions</i>	167
Gambar 3.58 <i>Loading</i>	168
Gambar 3.59 <i>Material-Concrete</i>	169
Gambar 3.60 <i>Material-Reinforcement</i>	169
Gambar 3.61 <i>Material-Post-Tensioning</i>	170
Gambar 3.62 <i>Criteria-Allowable Stresses</i>	171
Gambar 3.63 <i>Criteria-Recommended Post-Tensioning Values</i>	171
Gambar 3.64 <i>Criteria-Calculation Options</i>	172
Gambar 3.65 <i>Criteria-Calculation Options</i> <i>(Long-term Loss Parametersi)</i>	173
Gambar 3.66 <i>Criteria-Tendon Profile</i>	174
Gambar 3.67 <i>Criteria-Minimum Covers</i>	175
Gambar 3.68 <i>Criteria-Minimum Bar Extension</i>	175
Gambar 3.69 <i>Load Combination</i>	176
Gambar 3.70 <i>Criteria-Design Code</i>	177
Gambar 3.71 <i>PT Recycling</i>	177
Gambar 3.72 <i>PT Recycling Tendon Selection & Events</i>	177
Gambar 3.73 <i>Execution Succesfully Completed</i>	178
Gambar 3.74 Perbandingan Respons Spektrum Gempa Rencana SNI 03-1726- 2002 dan RSNI 03-1726-201x	183
Gambar 3.75 <i>PT Recycling</i> untuk Balok Induk Beton Prategang	184
Gambar 3.76 <i>PT Recycling</i> untuk Balok Induk Beton Prategang	185

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Beton Bertulang vs Beton Prategang	14
Tabel 2.2	Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia [SNI 03-1726-2002]	51
Tabel 2.3	Klasifikasi Situs Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	55
Tabel 2.4	Koefisien Situs, F_a Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	56
Tabel 2.5	Koefisien Situs, F_v Berdasarkan RSNI 03-1726-201x	57
Tabel 2.6	Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung [SNI 03-1726-2002]	60
Tabel 2.7	<i>Load Combination</i> Yang Digunakan	63
Tabel 3.1	Dimensi Balok dan Kolom Bangunan	77
Tabel 3.2	<i>Tabel Modal Participating Mass Ratios</i>	86
Tabel 3.3	<i>Center Mass Rigidity</i>	87
Tabel 3.4	Berat Struktur	87
Tabel 3.5	<i>Response Spectrum Base Reaction</i>	90
Tabel 3.6	Nilai Eksentrisitas Arah x untuk Pusat Gempa	92
Tabel 3.7	Nilai Eksentrisitas Arah y untuk Pusat Gempa	92
Tabel 3.8	Nilai Eksentrisitas Rencana untuk Pusat Gempa	92
Tabel 3.9	<i>Point Displacement</i>	96
Tabel 3.10	Kinerja Batas Layan Arah x	97
Tabel 3.11	Kinerja Batas Layan Arah y	97
Tabel 3.12	Analisa Δm Akibat Gempa Arah x	97
Tabel 3.13	Analisa Δm Akibat Gempa Arah y	98
Tabel 3.14	<i>Response Spectrum Base Reaction</i>	103
Tabel 3.15	Nilai Eksentrisitas Arah x untuk Pusat Gempa	105
Tabel 3.16	Nilai Eksentrisitas Arah y untuk Pusat Gempa	105
Tabel 3.17	Nilai Eksentrisitas Rencana untuk Pusat Gempa	106
Tabel 3.18	<i>Point Displacement</i>	110

Tabel 3.19	Kinerja Batas Layan Arah x	110
Tabel 3.20	Kinerja Batas Layan Arah y	110
Tabel 3.21	Analisa Δm Akibat Gempa Arah x	111
Tabel 3.22	Analisa Δm Akibat Gempa Arah y	111
Tabel 3.23	Waktu Getar Alami	179
Tabel 3.24	Gaya Geser Dasar	179
Tabel 3.25	Peralihan (<i>Displacement</i>) Arah x	180
Tabel 3.26	Peralihan (<i>Displacement</i>) Arah y	180
Tabel 3.27	<i>Drift</i> Δs Antar Tingkat Arah x	181
Tabel 3.28	<i>Drift</i> Δs Antar Tingkat Arah y	181
Tabel 3.29	<i>Drift</i> Δm Antar Tingkat Arah x	182
Tabel 3.30	<i>Drift</i> Δm Antar Tingkat Arah y	182
Tabel 3.31	Gaya Dalam Balok Induk Beton Prategang	184
Tabel 3.32	Gaya Dalam Balok Anak Beton Prategang	184

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	: Tinggi balok tegangan persegi ekuivalen
ABS	: <i>Scaled Absolute Sum Method</i>
ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
A_c	: Luas beton pada penampang yang ditinjau
A_{ps}	: Luas tulangan prategang dalam daerah tarik, mm^2
A_s	: Luas tulangan yang diperlukan
$A_{s\ min}$	: Luas tulangan minimum, mm^2
$A_{s\ max}$	: Luas tulangan maksimum, mm^2
A_{sl}	: Luas total tulangan longitudinal, mm^2
A_v	: Luas tulangan, mm^2
b_w	: Lebar penampang, mm
C_a	: Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
C_b	: Garis berat bawah
C_c'	: Gaya tekan pada beton
C_s'	: Gaya pada tulangan tekan
C_t	: Garis berat atas
C_v	: Faktor Respons Gempa vertikal untuk mendapatkan beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen pada unsure struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap gravitasi.
d	: Tinggi efektif penampang, mm
d_i	: Lengan momen prategang tulangan non komposit
DL	: Beban mati, berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap
d_p	: Lengan momen prategang komposit
d_{pi}	: Lengan momen prategang non komposit
E_c	: Modulus elastisitas beton, MPa
E_s	: Modulus elastisitas baja, MPa

E_{qx}	: Beban gempa arah x
E_{qy}	: Beban gempa arah y
f'_c	: Kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f'_{ci}	: Kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, MPa
f_{pc}	: Tegangan tekan beton rata-rata akibat gaya prategang efektif saja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi), MPa
f_{ps}	: Tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa
f_{pu}	: Kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa
f_{py}	: Kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan, MPa
f_y	: Kuat leleh tulangan yang disyaratkan, MPa
f'_{ys}	: Kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan, MPa
g	: Percepatan gravitasi
h	: Tebal total komponen struktur, mm
h_i	: Ketinggian lantai tingkat ke-i, diukur dari taraf penjepitan lateral
h_{min}	: Tinggi minimum balok, mm
I	: Faktor keutamaan gedung
LL	: Beban hidup, semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung
L_n	: Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negative
M_u	: Momen terfaktor pada penampang, Nmm
M_n	: Momen nominal penampang
n_p	: Jumlah pelat
P_u	: Beban aksial terfaktor, N
P_{su}	: Gaya tendon prategang pada ujung angkur, N
R	: Faktor reduksi gempa
s	: Jarak antar sengkang, mm
SDL	: Beban mati tambahan
S_{DS}	: Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

S_{D1}	: Parameter percepatan spektrum percepatan desain periode 1 detik
SNI	: Standar Nasional Indonesia
$SRSS$	: <i>Square Root of the Sum of the Squares</i>
S_s	: Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik
t	: Umur beton saat ditegangkan, hari
T	: Waktu getar alami struktur
T_p	: Gaya pada kabel prategang
T_s	: Gaya pada tulangan tarik
V_b	: <i>Base Shear</i> Struktur
V_c	: Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton, N
V_s	: Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar
$V_{s\ max}$	: Gaya geser maksimum
V_u	: Gaya geser terfaktor pada penampang, N
W	: Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai
x	: Jarak garis netral dari serat tekan terluar
$\Delta\epsilon_p$	: Regangan kabel prategang akibat lentur
α	: Rasio kekakuan lentur prategang balok terhadap balok bertahap kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok
Δ	: Simpangan antar lantai tingkat desain
Δ_m	: Rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rancana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan
B	: Faktor pelapis
γ_{beton}	: Berat jenis beton
$\emptyset$	: Diameter baja tulangan
ξ	: Koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung berdasarkan SNI 03-1726-2002

- ϕ : Faktor kekuatan
- ϕ_s : Faktor kekuatan geser
- ρ : Rasio tulangan tekan non-prategang
- ρ_b : Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang
- ε_{pi} : Regangan awal kabel prategang

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Peta Wilayah Gempa	189
Lampiran 2	Spesifikasi VSL	193
Lampiran 3	Hasil <i>Output</i> Program ADAPT-PT untuk Balok Induk Beton Prategang	215
Lampiran 3	Hasil <i>Output</i> Program ADAPT-PT untuk Balok Anak Beton Prategang	237